

関東平野の実測地下水ポテンシャル分布と地下水・地盤沈下シミュレーション

Temporal change of groundwater potential distribution and groundwater flow/land subsidence coupled modeling in the Kanto Plain, Japan

愛知正温, 林武司, 徳永朋祥 (東京大学)

取り組みの概要

- 実測地下水ポテンシャルの空間分布を整理
 - 帯水層群ごとの整理
 - 時間方向の変化
- 過去の揚水量の復元
 - 統計データの整理
 - データのない期間の推定
- 数値モデルの作成
 - 関東平野地下水流動モデル
 - 東京地域地下水流動・地盤沈下モデル

帯水層群の区分概要

- 地下水利用深度の下限 基底
ex) 東京 上総層群中の厚い泥岩層上面
- 既往の地質図、柱状図対比、地質断面図および地層下面等深度線図の整理

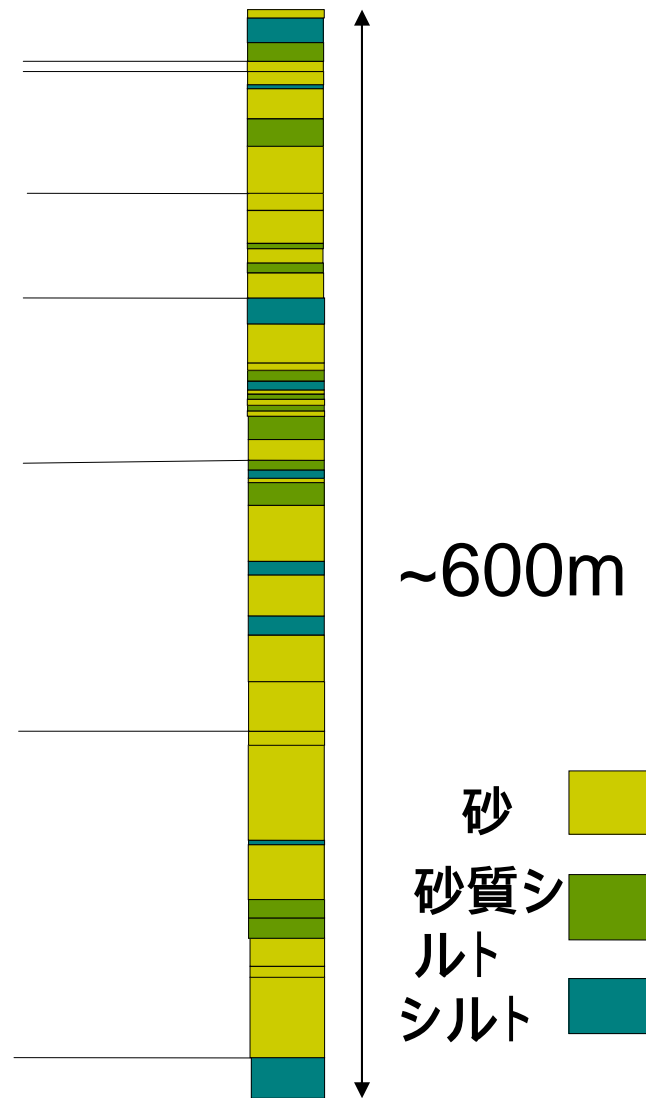
また、

1. 表層地質区分との対応性を考慮
2. 上総層群・下総層群・段丘堆積物・沖積層の区分の反映
3. 酸素同位体比層序も考慮



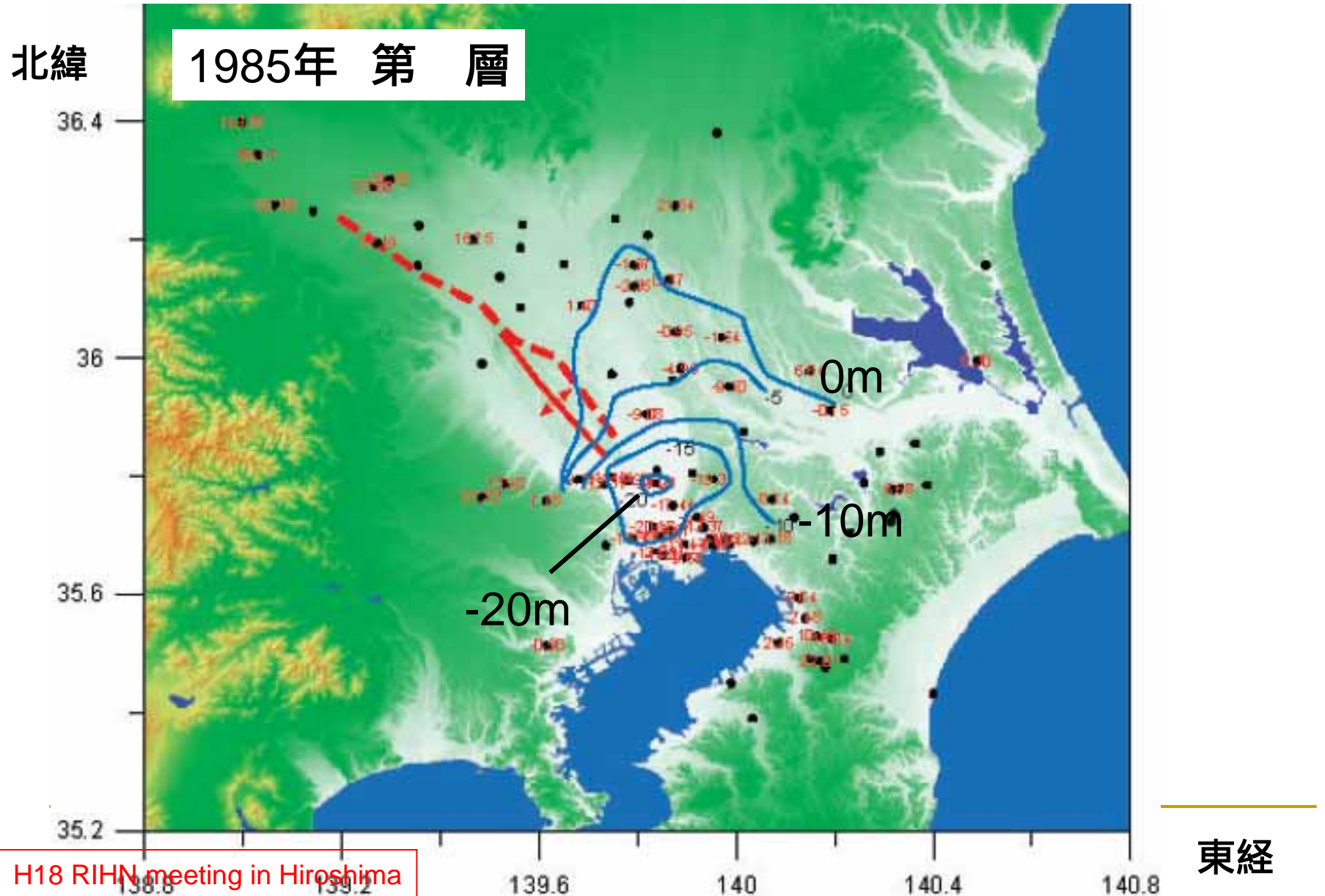
7つの帯水層群にグループ化

基底

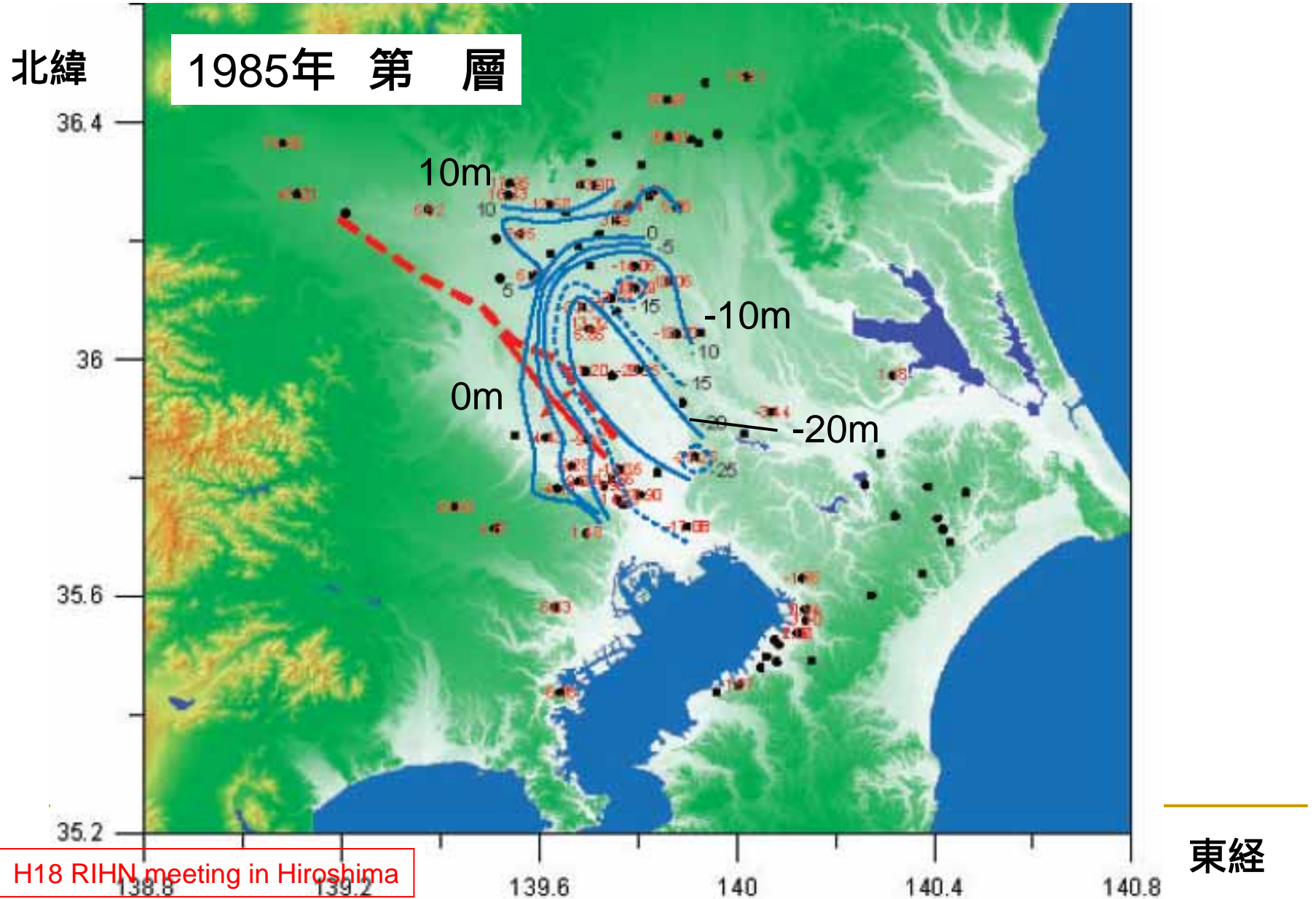


(足立区での区分対応例)

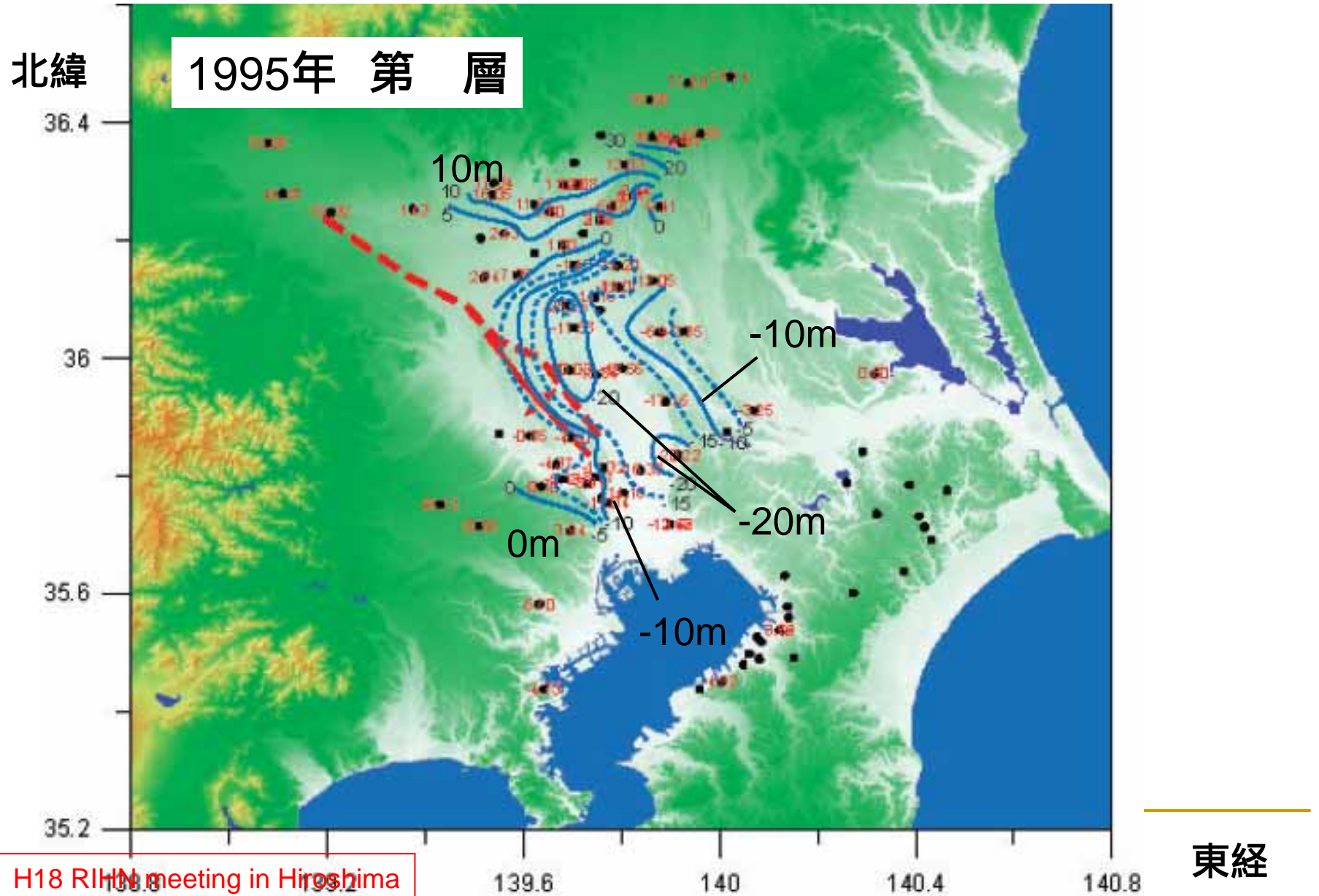
関東平野の実測地下水ポテンシャル分布



関東平野の実測地下水ポテンシャル分布



関東平野の実測地下水ポテンシャル分布



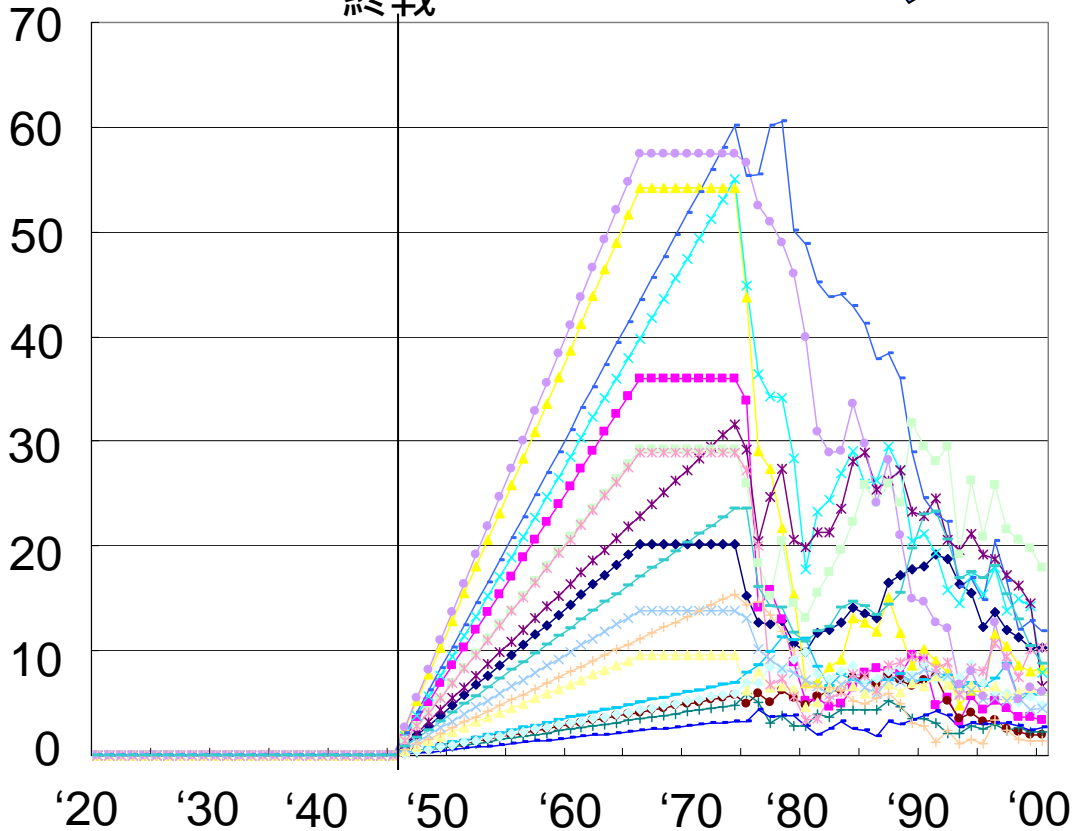
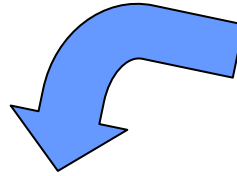
揚水量の復元

自治体単位の統計資料整理

(復元例)

揚水量(千t/day)

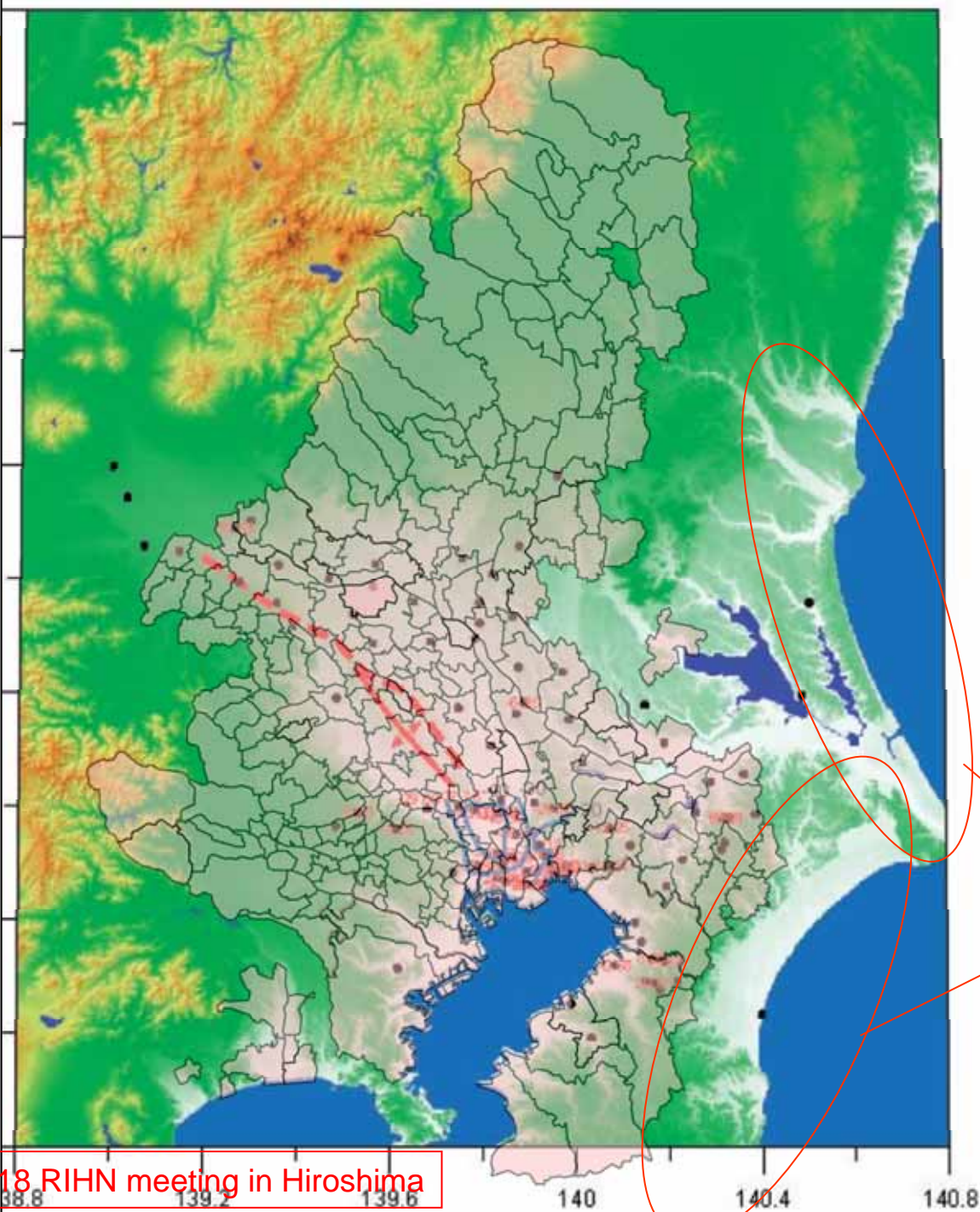
終戦



H18 RIHN meeting in Hiroshima

東京都	都内の地下水揚水の実態
	京浜地帯地盤沈下調査報告書
	地下水揚水量調査報告書
神奈川県	全国地盤環境情報ディレクトリ
	地盤沈下調査結果
埼玉県	埼玉県地盤沈下調査報告書
	千葉県の地盤沈下
	千葉県環境白書
	地下水揚水量調査報告書
千葉県	千葉県環境白書
	全国地盤環境情報ディレクトリ
群馬県	全国地盤環境情報ディレクトリ
栃木県	農業用地下水利用実態調査報告書
	全国地盤環境情報ディレクトリ
茨城県	全国地盤環境情報ディレクトリ
	地下水揚水量調査報告書

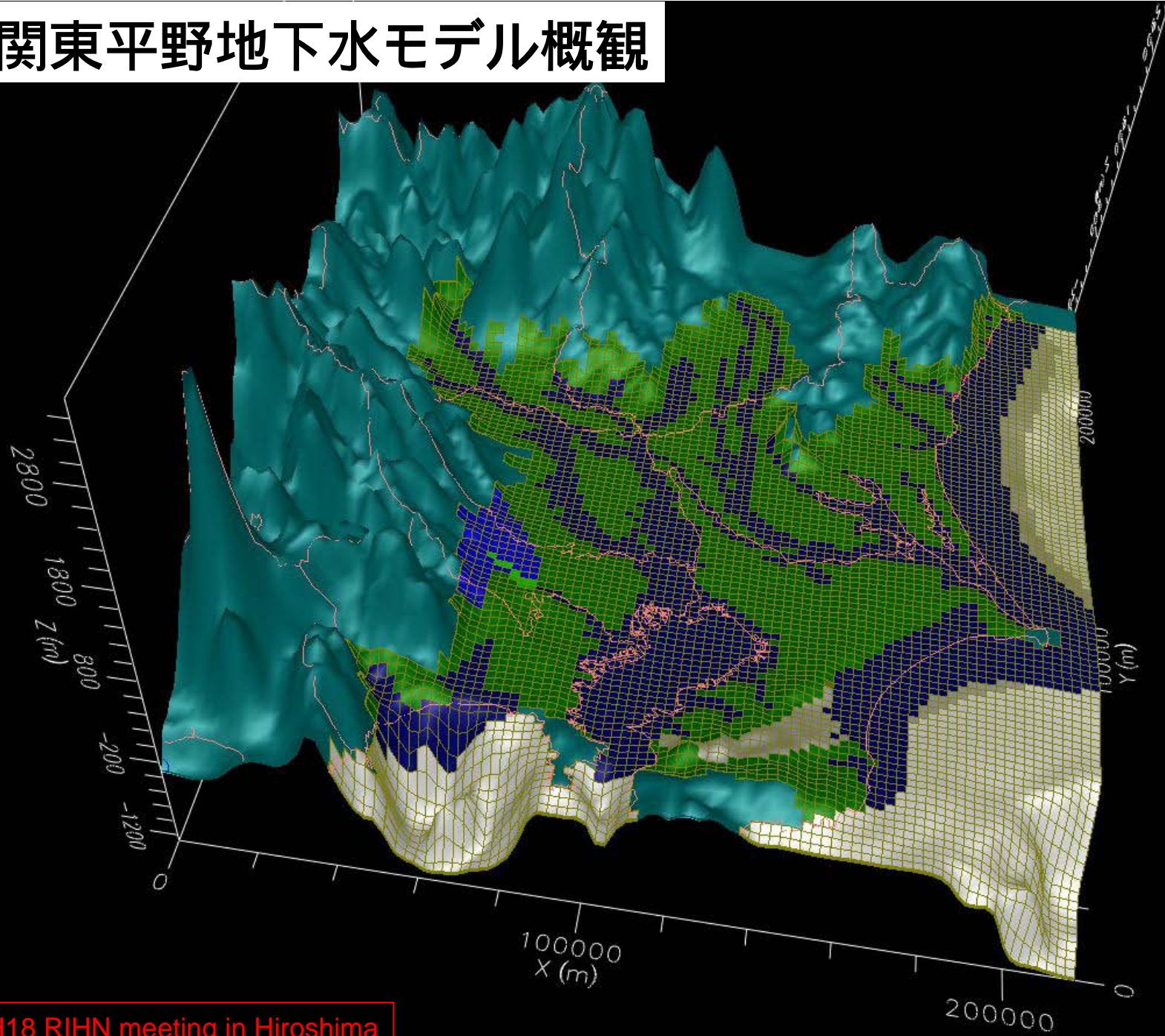
現時点でデータ整理をした自治体



現時点で整理した統計データの空白域

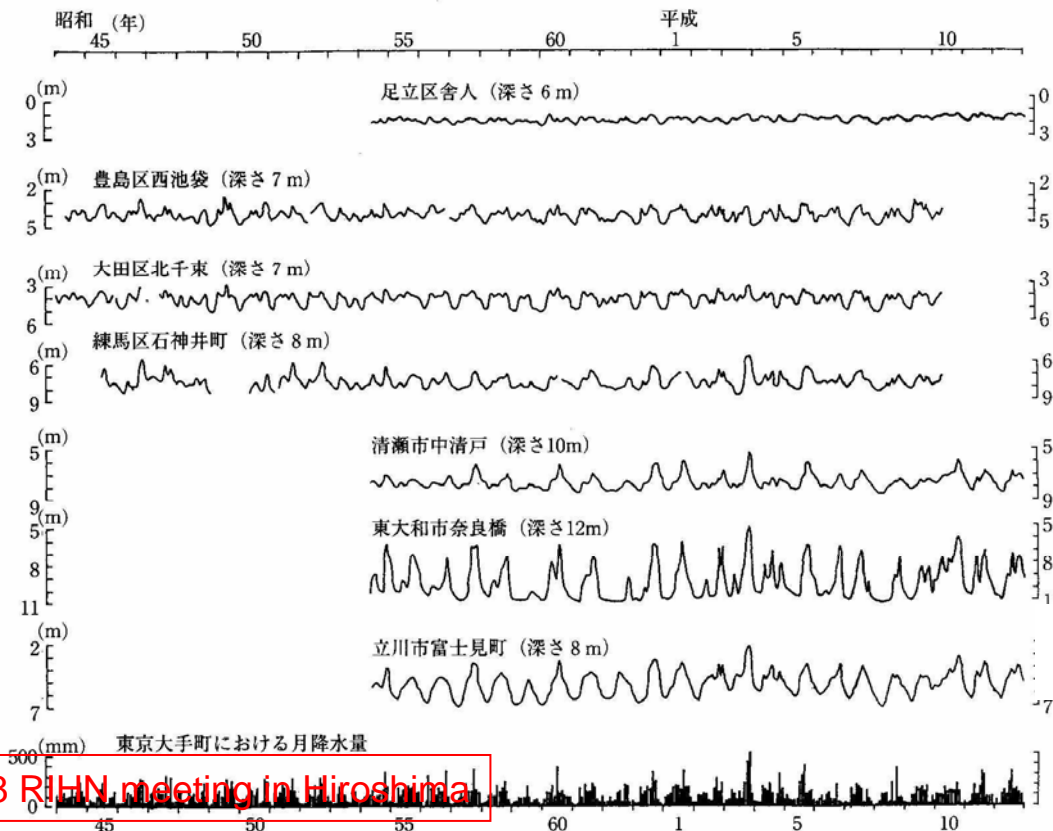
(水道統計・工業統計で補完できる可能性あり)

関東平野地下水モデル概観



境界条件の設定

- 海底面: 地下水ポテンシャル = 0 m
- 山帯基盤岩: 不透水
- 地表面: 地下水ポテンシャル = 標高 (一定)

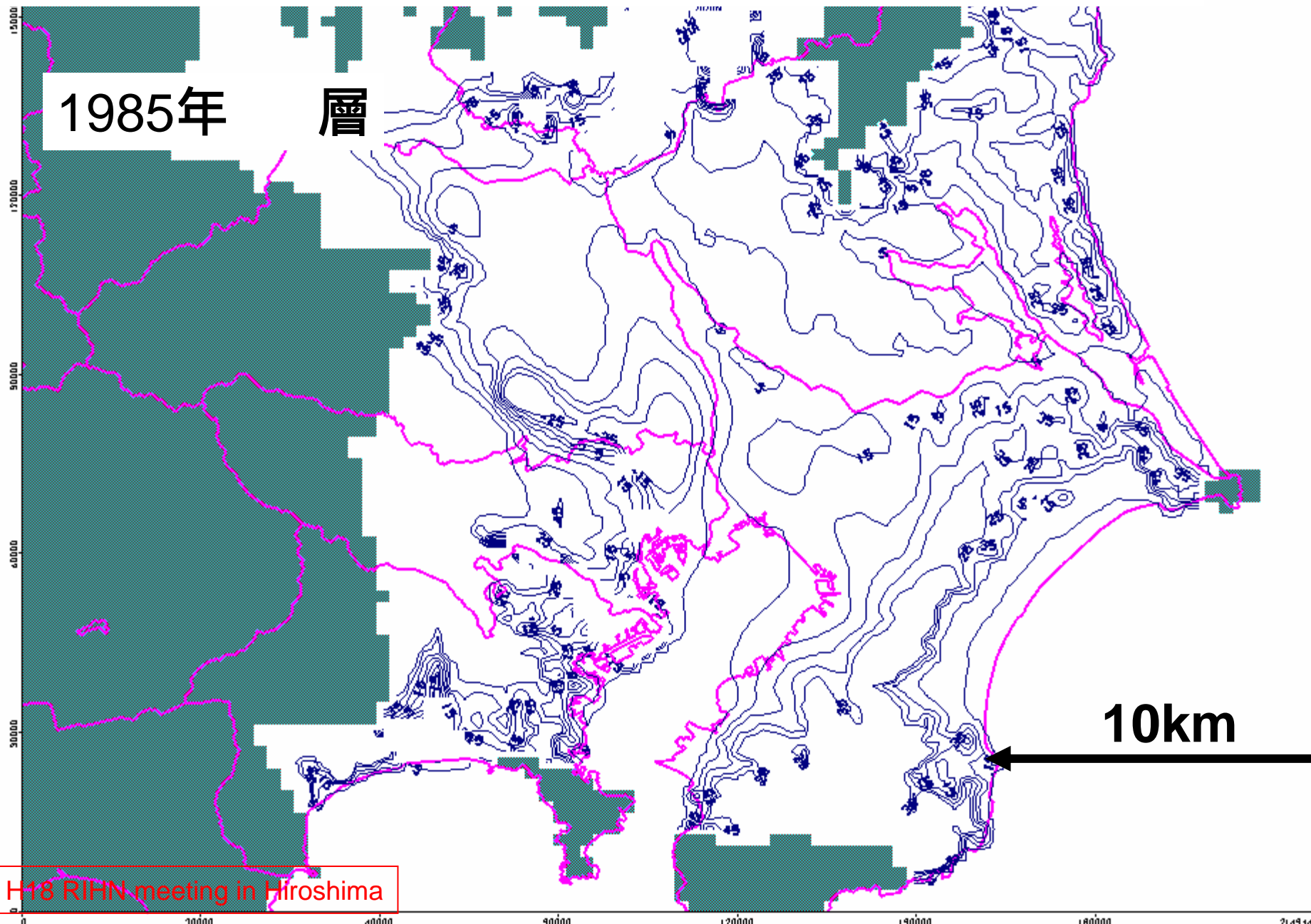


自由地下水水面変動

川島, 2001

関東平野地下水モデル計算例

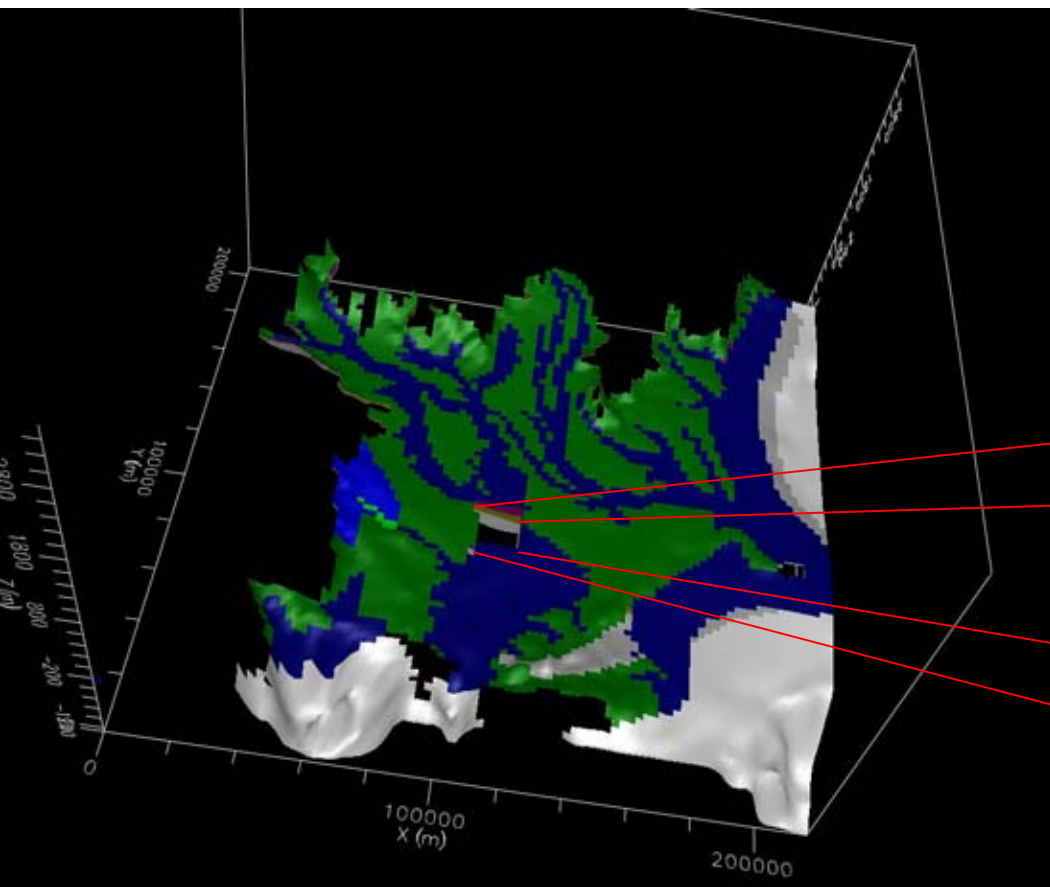
1985年 層



H18 RIHN meeting in Hiroshima

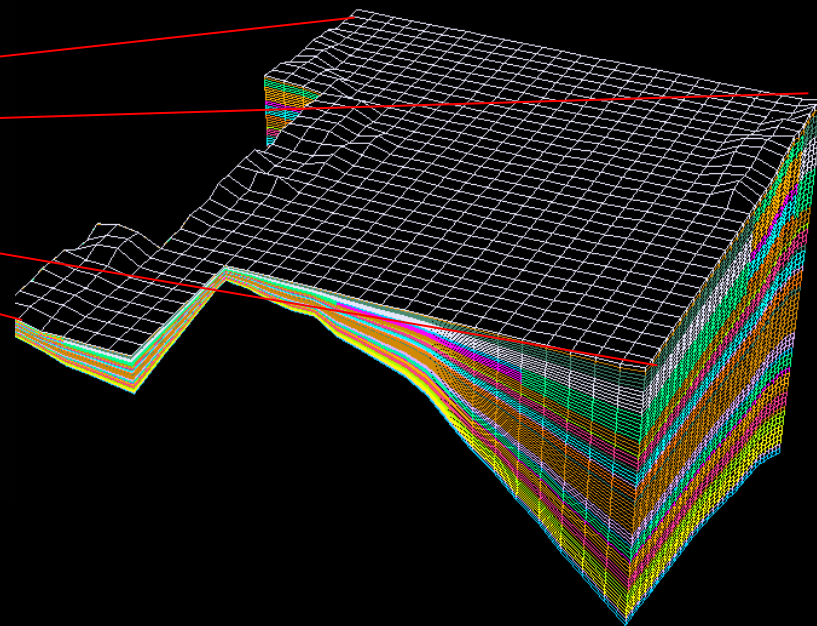
関東地下水流動モデルと東京地盤沈下モデルの連結

関東平野地下水流動モデル
(地下水流動シミュレーション)



東京地盤沈下モデル
(地下水流動・地盤変形連成シミュレーション)

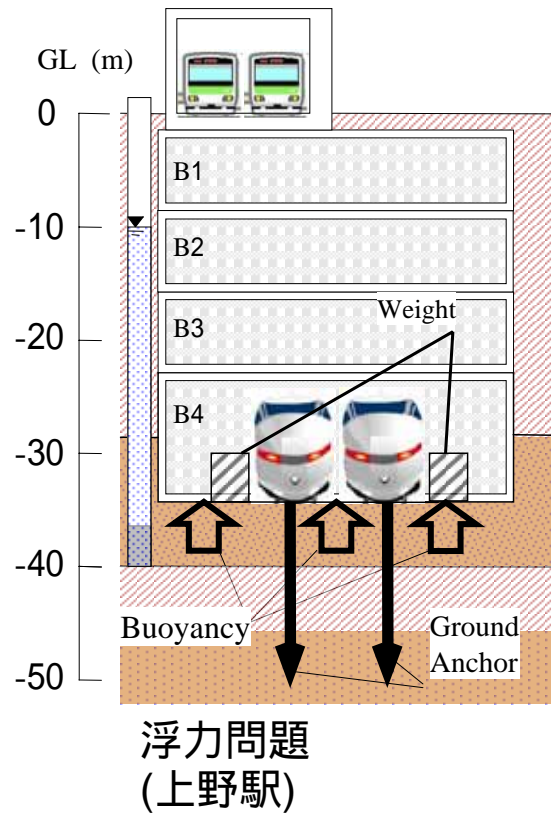
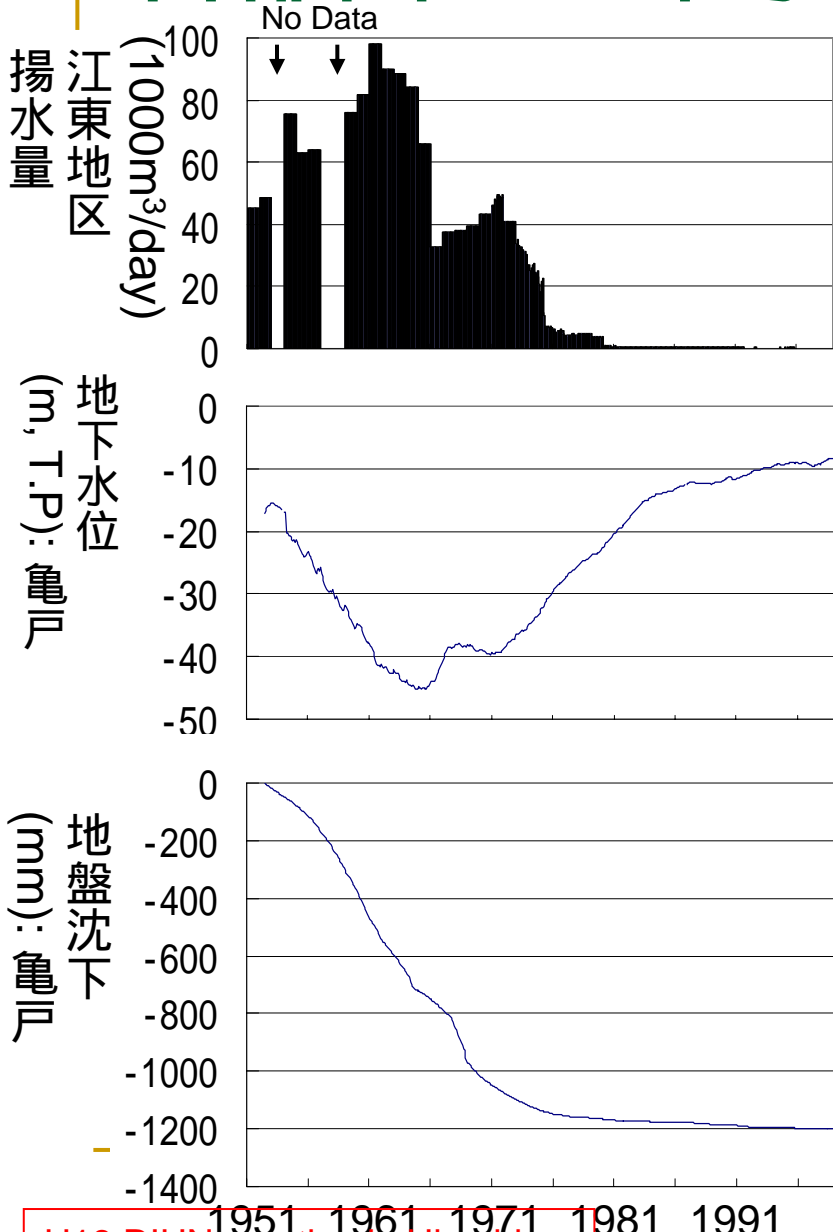
関東平野モデルと地下水流動
が連続するように連結



まとめと展望

- 実測地下水ポテンシャルマップ
 - 地下水利用の影響の実態把握
 - 採水調査計画策定のための参考情報
- 揚水量復元
 - 自治体単位での地下水利用量整理
 - 深度分布が課題
- 数値モデル作成
 - 関東平野地下水流動モデル
 - 東京地域地盤沈下・地下水流動モデル

首都圏の地下水問題

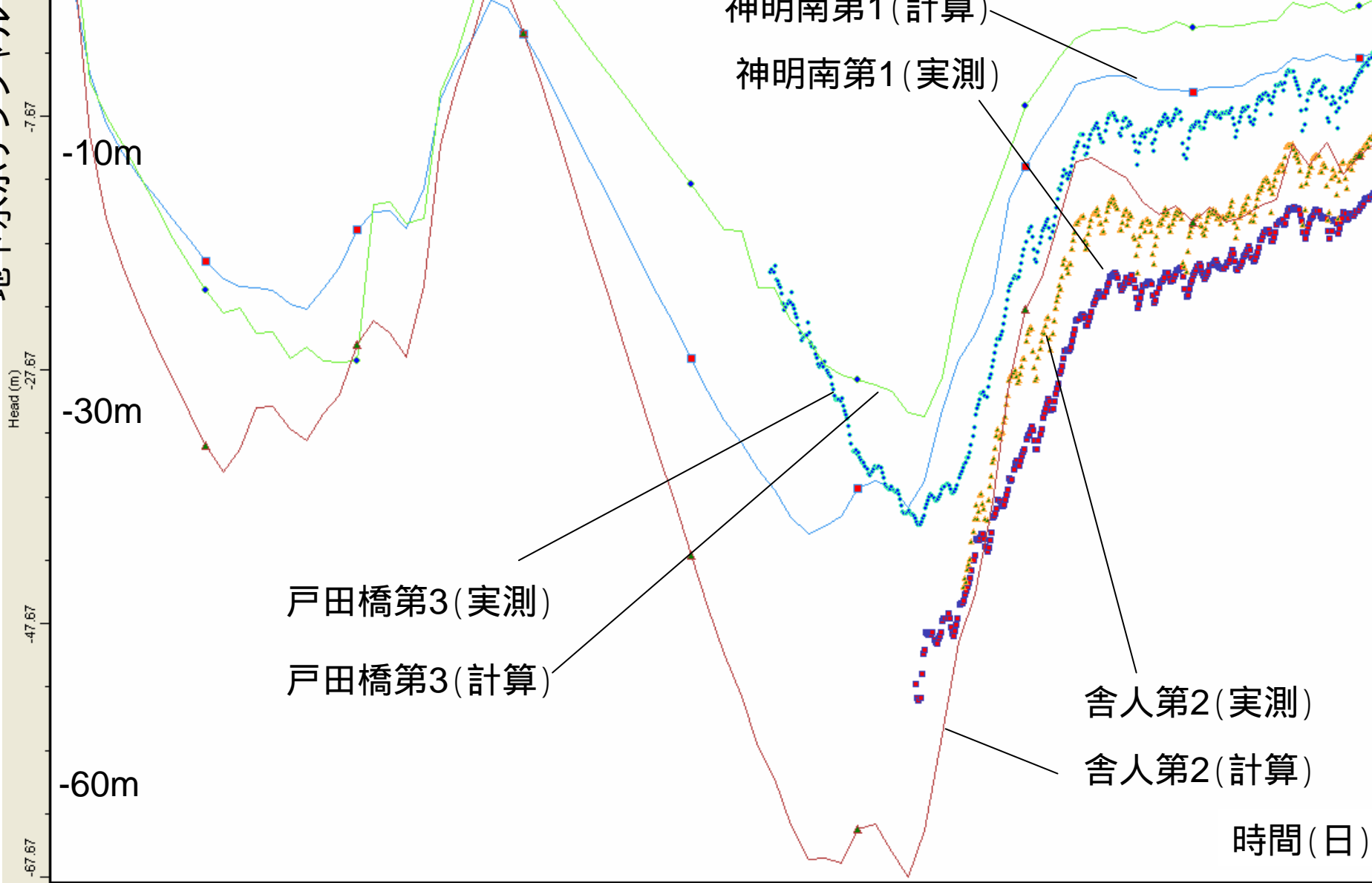


漏水
(総武快速線)
(Nikkei Const., 2004)

地下水ポテンシャル上昇1mあたり
10億円の対策費用

地下水水位観測井の実測値との比較例

地下水ポテンシヤル



神明南第1 (計算)

神明南第1 (実測)

戸田橋第3 (実測)

戸田橋第3 (計算)

舎人第2 (実測)

舎人第2 (計算)

時間 (日)

関東における地下水利用変化に伴う地下環境変遷の理解

地下水利用変化の把握

過去の地下水利用復元

揚水量統計

井戸情報

etc.

地下環境変遷の把握

実測データの取得・整理

地下水ポテンシャル

地下水水質

地下水年代測定

地盤沈下量

etc.

過程の理解・検証

数値シミュレーション

場の情報把握

帯水層構造

水理特性

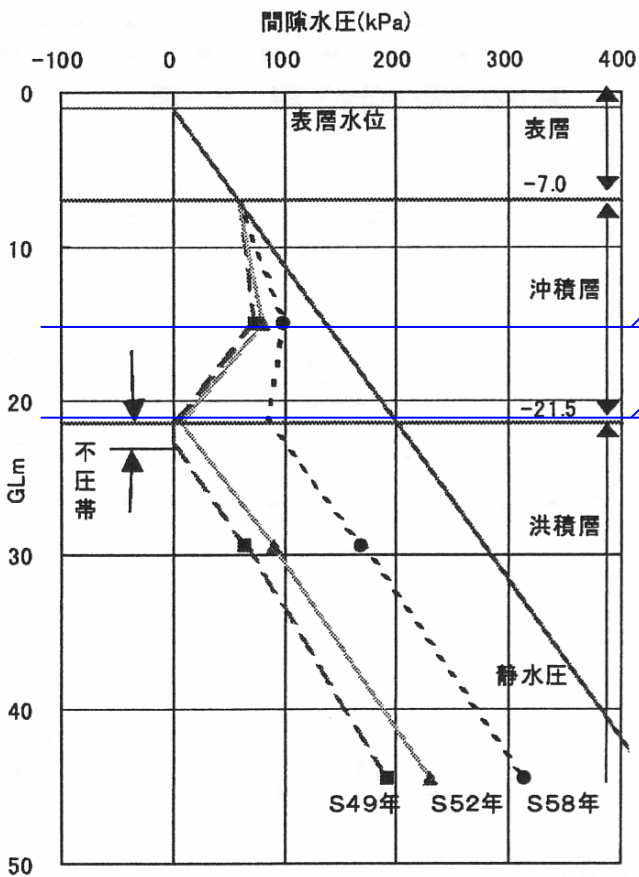
変形特性

etc.

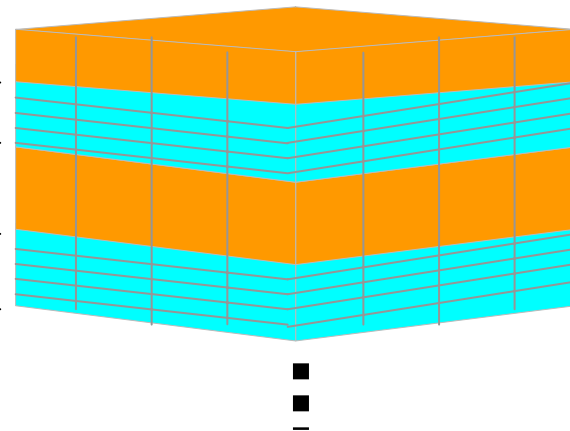
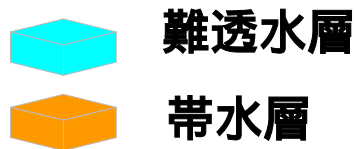
要素分割

間隙比

圧密降伏応力増大の差の概念図



Log (平均有効応力)



難透水層内の詳細メッシュが必要



計算負荷が増大する

図-4 神明南町沖積洪積層間隙水圧分布図 (S46~S58)

H18 5th meeting in Hiroshima
 圧密の遅れの例 (廣瀬, 2004)

地下水流動・地盤沈下連成モデル

地下水の質量収支

$$\frac{\partial \varepsilon_{kk}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j} \right) - Q$$

力の釣り合い式

$$\frac{\partial \sigma_{ji}}{\partial x_j} + F_i = 0$$

ひずみ-変位関係

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

有効応力の原理

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} + \delta_{ij} p$$

+

変形に関する構成関係

$$\varepsilon_{ij} = D_{ijkl} \sigma'_{kl}$$

ε_{ij} : ひずみテンソル
 p : 間隙水圧
 h : 地下水頭(= $p/\rho_w g + z$)
 K_{ij} : 透水係数テンソル
 Q : 生産項
 σ_{ij} : 全応力テンソル
 F_i : 体積力
 u_i : 変位
 σ'_{ij} : 有効応力テンソル
 D_{ijkl} : 弾塑性テンソル

変形モデル: 弾性変形領域 等方線形多孔質弾性論
塑性変形領域 Cam-clayモデル

不飽和化について

■ 有効応力

- Bishopの有効応力式の $=S_w$ とした以下の式で近似する。

$$\sigma'_{ij} = \sigma_{ij} + \delta_{ij} p_a + \delta_{ij} S_w (p_w - p_a)$$

σ'_{ij} : 有効応力テンソル

σ_{ij} : 全応力テンソル

p_w : 間隙水圧

p_a : 間隙空気圧

S_w : 飽和率

δ_{ij} : クロネッカーの

不飽和化について

■ 地下水流動

- Van Genuchten式とMuleamモデルを採用し、一般的な文献値の範囲で定数を設定する予定である。

$$S_e = \left\{ 1 + (1 - \alpha p)^n \right\}^{-m}$$

$$\frac{k}{k_{ws}} = S_e^{0.5} \left\{ 1 - \left(1 - S_e^{\frac{1}{m}} \right)^m \right\}^2$$

k : 不飽和透水係数

k_{ws} : 飽和透水係数

p : 間隙水圧

S_e : 有効飽和率 $\left(= \frac{S - S_r}{1 - S_r} \right)$

S : 飽和率

S_r : 残留飽和率

n, α : 地盤の物性値

$$m = 1 - \frac{1}{n}$$

連結手順

開始

領域全体を広域モデルの離散化方法で解き、広域モデルと局所モデルの境界での間隙水圧と流量の概略を推定する

広域モデルと局所モデルの境界に流量境界条件を設定する

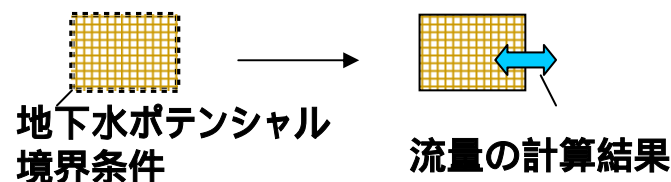
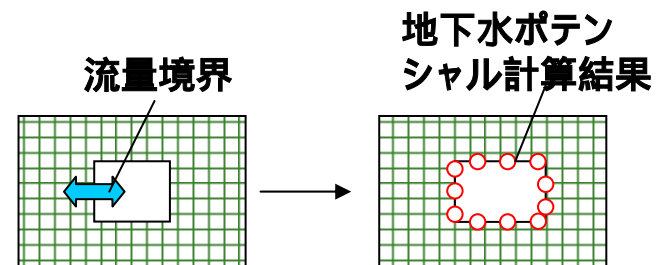
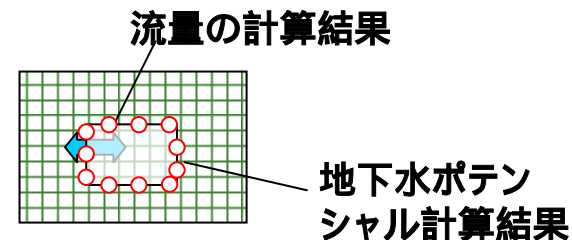
広域モデルと局所モデルの境界に流量条件を与えて広域モデルを解く

広域モデルと局所モデルの境界に地下水ポテンシャル境界条件を設定する

広域モデルと局所モデルの境界に地下水ポテンシャル境界条件を与えて解く

流量の変化 < 基準

終了



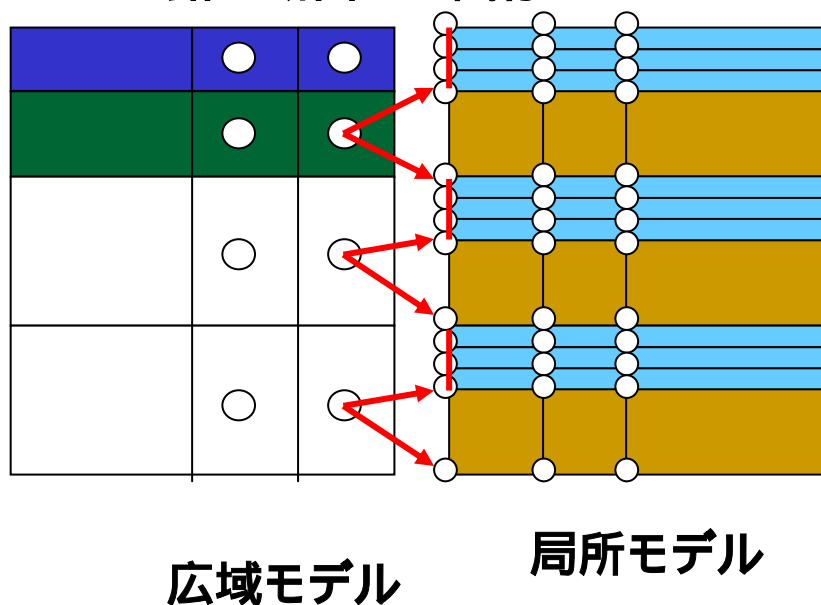
■ 緩和法

- 流量境界条件を設定する際に、前のステップの値と今回のステップの間の値の平均値を使う

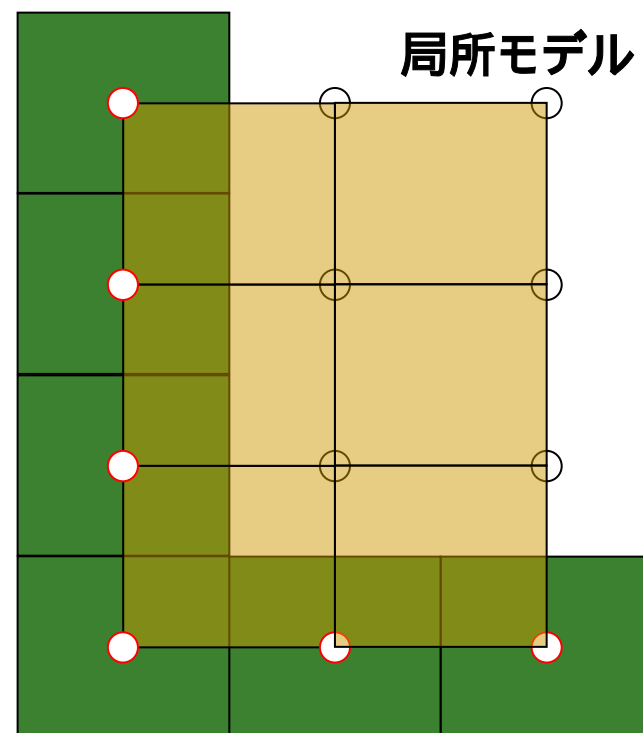
広域モデルから局所モデルへの境界条件の受け渡し

■ 地下水ポテンシャル境界条件

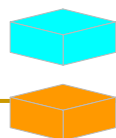
鉛直断面での関係



帯水層内における水平断面での関係



不透水境界近似



難透水層

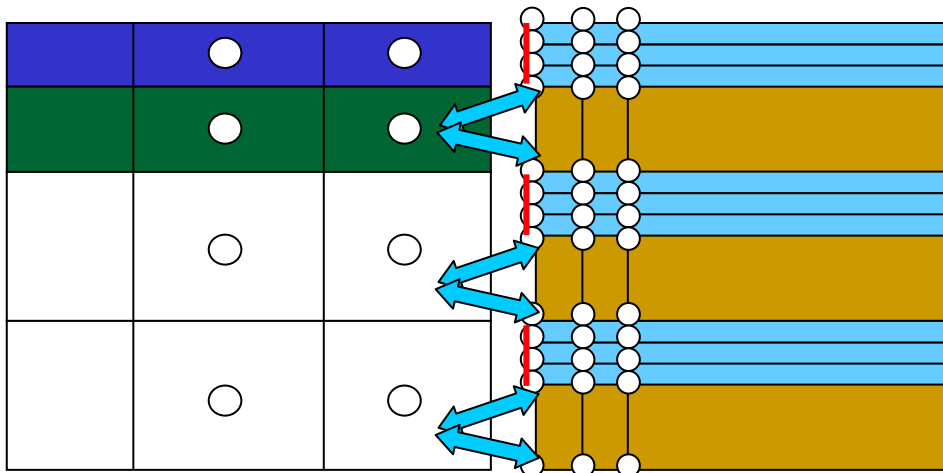
帯水層

広域モデル

局所モデルから広域モデルへ境界条件の受け渡し

■ 流量境界条件

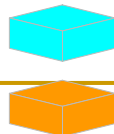
鉛直断面での関係



広域モデル

局所モデル

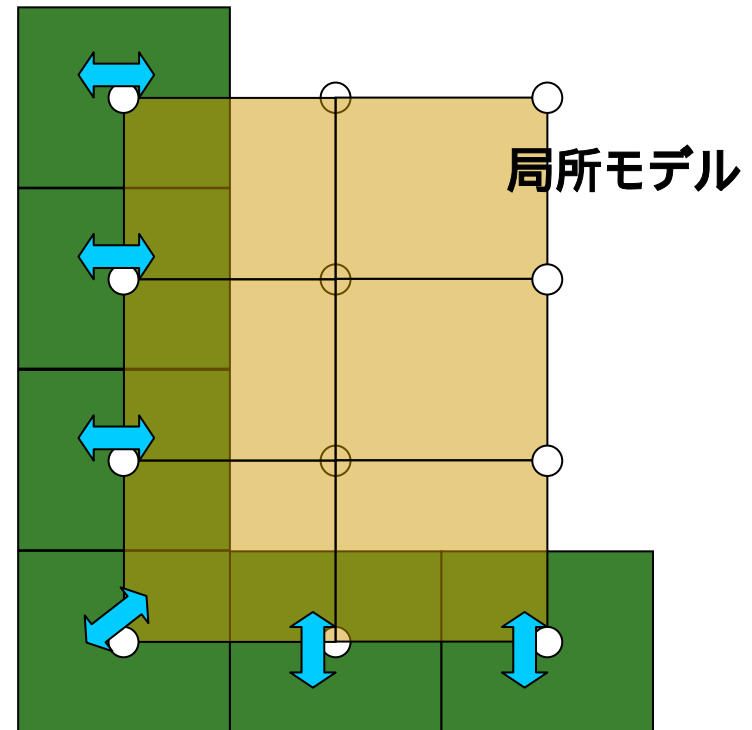
不透水境界近似



難透水層

帯水層

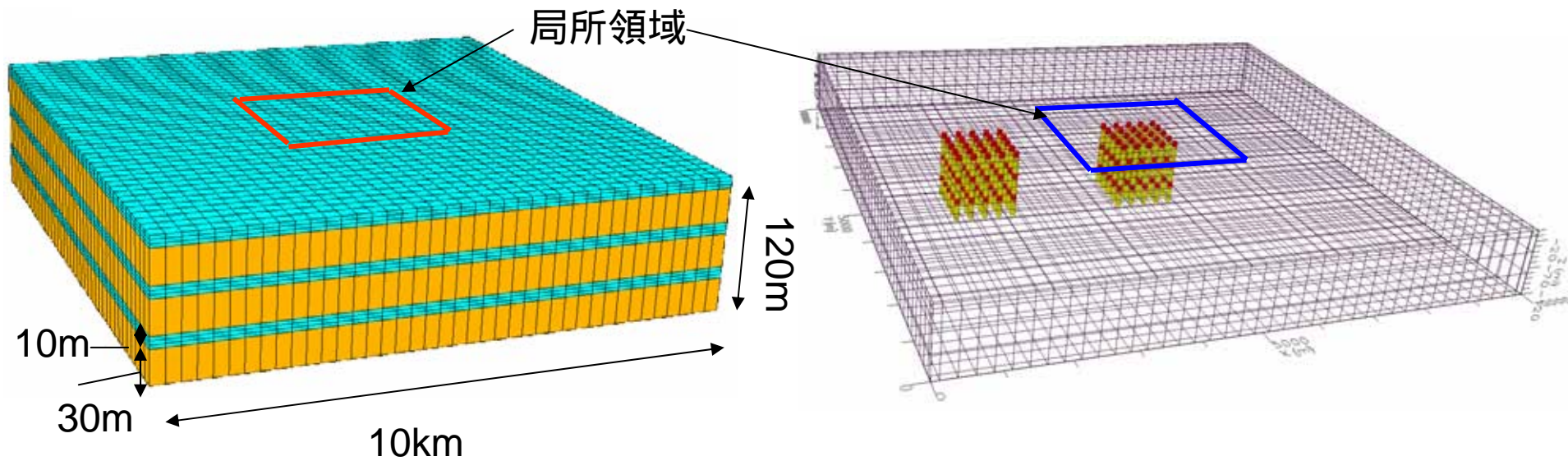
帯水層における水平断面での関係
(等価節点流量を計算して渡す)



局所モデル

広域モデル

提案手法の検証



揚水井スクリーンの配置
中央部分に5×5×3帯水層
左側部分に5×5×3帯水層

全体領域: 10km × 10km × 120m

局所領域: 全体領域の中央部3km × 3km × 120m

解析期間: 6年間

揚水条件: 前半3年間 34.56t/day × 150スクリーン=合計5184t/day, 後半3年間揚水停止

物性: 青色(泥層) 透水係数 10^{-10} m/s, ヤング率45.7MPa(弾性領域), ポアソン比0.4
圧縮指数1.0, 限界応力比1.2

黄色(砂層) 透水係数 10^{-5} m/s, ヤング率1GPa, ポアソン比0.3

境界条件: 底面・y=0面・y=10km面 不透水

x=0面, x=10km面, 地表面 地下水ポテンシャル=地表標高

初期条件: 与えられた境界条件で無揚水のもと定常状態, 正規圧密

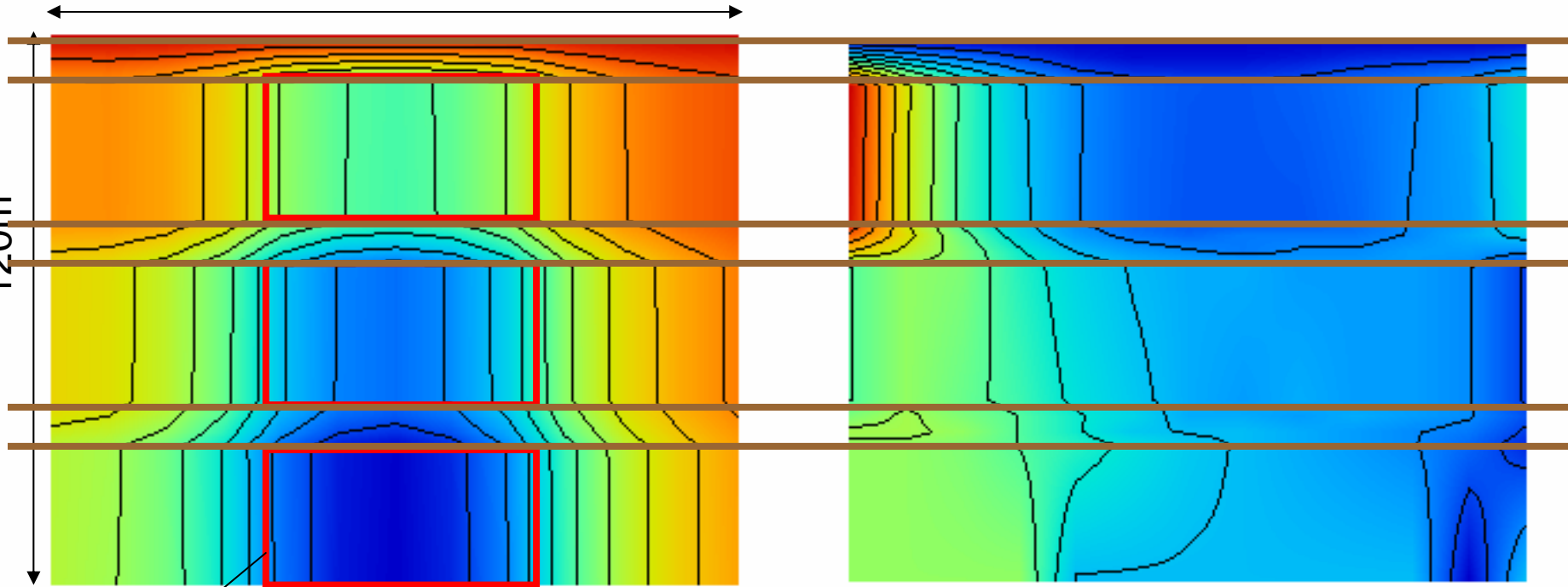
最低地下水ポテンシャルに関する結果

提案モデルのシミュレーション期間中の最低地下水ポテンシャルの抽出結果
(局所領域の中央を通るy一定断面)

同じ断面に関する詳細広域地盤沈下予測モデルと提案モデルとの差分
(詳細広域 - 連結解析)

3km

120m



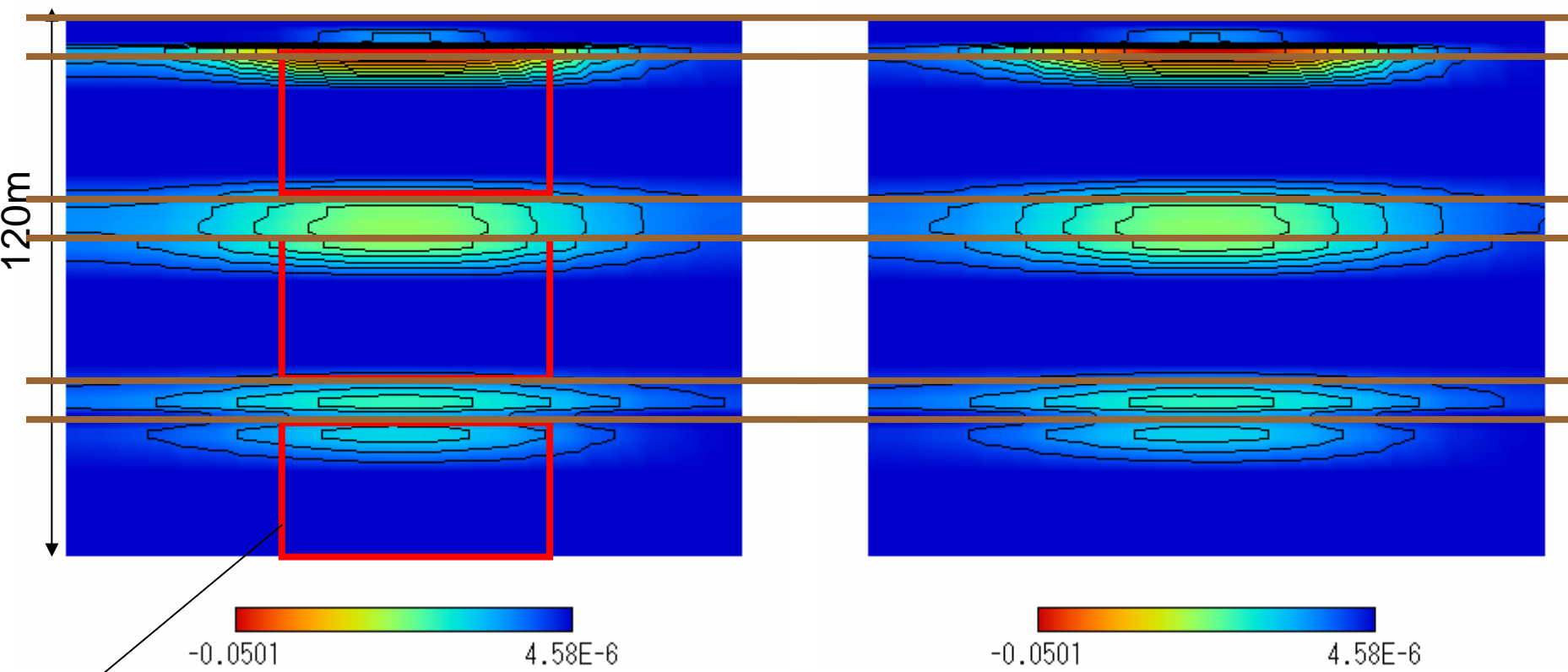
揚水エリア

鉛直ひずみに関する結果

提案モデルのシミュレーション期間中の三年目の鉛直ひずみの抽出結果
(局所領域の中央を通るy一定断面)

同じ断面に関する詳細広域地盤沈下予測モデルの結果

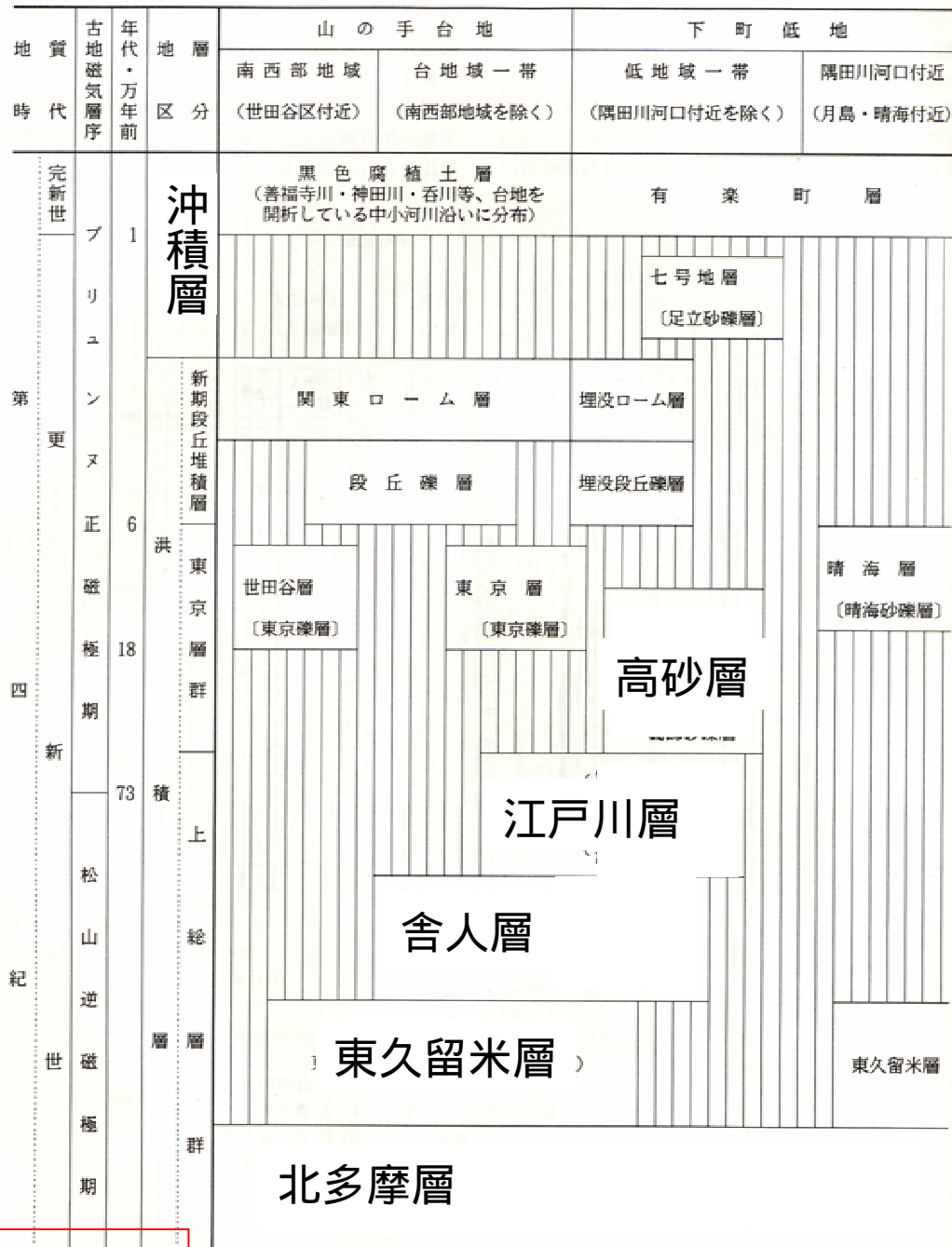
3km



揚水エリア

H18 RIHN meeting in Hiroshima

表 2-3 東京都区部の地下地質層序



H18 RIHN meeting in Hiroshima

(注) 新期段丘堆積層については細分化せず、ローム層と段丘礫層に大別してある。
2. ()内は当該地層中の砂および砂礫の各部層名である。

東京都土木技術研究所(1996)を編集